



Technische Übersicht

CineFX 3.0

Die nächste Effektgeneration



Die nächste Effektgeneration

Zu einem leistungsfähigen Grafikprozessor gehört natürlich auch eine passende Effektarchitektur. Bei den neuen NVIDIA® GeForce™ 6-Chips ist dies die bewährte NVIDIA CineFX™-Engine, die – inzwischen in ihrer dritten Generation – dem Entwickler alle Leistungsmöglichkeiten des Grafikprozessors erschließt und die Effektprogrammierung durch vielseitige Hilfen erleichtert. Eine wesentliche Neuerung der aktuellen CineFX 3.0-Engine ist der Wegfall der hardwareseitigen Längenbeschränkung für Shaderprogramme – sowohl unter Microsoft® DirectX® 9.0 Shader Model 3.0 als auch unter SGI OpenGL® 1.5. Bessere Möglichkeiten für die Ablaufsteuerung und Technologien wie Multiple Render Targets (MRTs) eröffnen neue Möglichkeiten für filmreife Grafikeffekte, ohne dafür Kompromisse bei der Leistung eingehen müssen. (Abbildung 1 zeigt ein Beispielbild aus einer Demo für die neuen Möglichkeiten der GeForce 6-Reihe.)

Zwei weitere Aspekte der neuen CineFX 3.0-Engine ermöglichen es zudem, jetzt noch komplexere Grafikwelten zu erschaffen: Zum einen die durchgängige 32-Bit-Gleitkommagenauigkeit bei allen Shading-Vorgängen, mit der NVIDIA ein echtes Branchennovum abliefert, zum anderen die weiter gesteigerte Verarbeitungsleistung. Mit diesen Voraussetzungen sind die neuen GeForce 6-Prozessoren die perfekte Plattform für ausgefeilte Echtzeiteffekte, die selbst kritischsten Blicken standhalten können – an dieser Stelle seien als Beispiele nur Displacement Mapping, komplexe Schatteneffekte oder Echtzeit-Haut- und Haarsimulation genannt.



©2004 NVIDIA Corporation

Abb. 1: Komplexe Echtzeiteffekte auf Basis der CineFX 3.0-Technologie

Umfassende Unterstützung für aktuelle Standards

CineFX 3.0 bietet vollständige Unterstützung für das DirectX 9.0 Vertex Shader Model 3.0, Pixel Shader Model 3.0 sowie die in der OpenGL-API festgelegten Shader-Programmkonventionen. Spieleentwicklern steht damit ein äußerst komfortabler Zugang zum gesamten Funktions- und Leistungsspektrum der neuen Engine offen. Dabei bleibt gleichzeitig die API-Unabhängigkeit gewahrt: CineFX 3.0 unterstützt mit Microsoft High-Level Shader Language (HLSL), OpenGL Shader Language (GLSL) sowie der Cg-Shadingumgebung alle wichtigen Shading-Hochsprachen, sodass sich der Entwickler frei entscheiden kann, ob er für DirectX oder OpenGL entwickeln möchte.

Vertex Shader 3.0

Wesentliche Merkmale der neuen CineFX-Version 3.0 sind die Unterstützung für Vertex-Programme mit praktisch unbeschränkter Länge¹ sowie die dynamische Ablaufsteuerung. Traditionelle Einschränkungen hinsichtlich der Komplexität und Struktur von Shaderprogrammen fallen somit weg. In Verbindung mit der hohen Leistung der neuen GeForce 6-Chips lassen sich dank dieser Voraussetzungen auch modernste Vertexshader-Funktionen wie Displacement Mapping oder ein Takteiler für Vertex-Streams (Vertex Stream Frequency Divider oder auch „Geometry Instancing“) effizient nutzen.

Keine Längenbeschränkung für Vertexshader

Eine der wichtigsten Neuerungen ist sicherlich der Wegfall einer Längenbeschränkung für Vertexshader-Programme. Endlich müssen komplexe Effekte nicht mehr als Kombination verschiedener Shaderprogramme implementiert werden – ein wahrer Segen für den Entwickler, denn schließlich führen die ständigen Programmaufrufe und Übergaben zu einem gehörigen Mehraufwand, der oft auch mit entsprechenden Leistungseinbußen einhergeht und damit bestimmte Effekte gänzlich unpraktikabel macht.

Dank dieser neu gewonnenen Freiheit lassen sich alle Leistungsmöglichkeiten der Hardware voll ausnutzen, was besonders bei der Entwicklung komplexer Effekte ein Pluspunkt ist. Da längere Programme notgedrungen mehr Ausführungszeit benötigen als kürzere, wurde die CineFX 3.0-Engine darüber hinaus auch mit zusätzlichen Leistungsreserven für längere Programme ausgestattet – eine zügige Ausführung ist also sichergestellt.

¹ Der Wegfall der Längenbeschränkung bezieht sich auf die Hardware. Betriebssystem bzw. API setzen unter Umständen weiterhin Längenbeschränkungen.

Dynamische Ablaufsteuerung

Mit zusätzlichen Schleifen- und Verzweigungsoptionen sowie neuen Aufruf- und Rückgabemöglichkeiten für Subroutinen wird es für Entwickler jetzt noch leichter, effiziente Shaderprogramme zu schreiben. Und mehr Flexibilität bei der Arbeit bedeutet gleichzeitig mehr Spielraum für kreative neue Effekte!

Unter anderem sind im Bereich der Ablaufsteuerung folgende Möglichkeiten neu hinzugekommen:

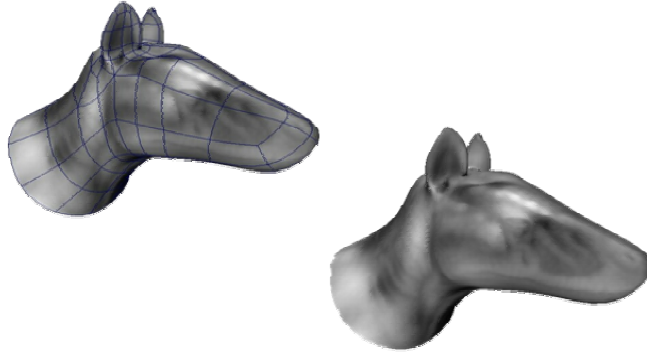
- ❑ Neue Anweisungen (IFC/BREAKC, IF/BREAK/CALLNZ)
- ❑ Vereinheitlichter Stack (8 Elemente) für Rückgabeadressen und Adressregister:
 - Verzweigung, Aufruf (Branch/Call)
 - Push-/Pop-Befehl für Adressregister
- ❑ Fallauswahl nach Bedingungscode (Condition Codes)

Displacement Mapping

Ein weiteres neues Technologiemerkmale der CineFX 3.0-Engine, die texturierte Vertexverarbeitung, verleiht Objekten, Oberflächen und Figuren zusätzliche Detailtiefe und damit eine realistischere Erscheinung. Dabei werden Texturinformationen in Echtzeit mit einfachen Registerladebefehlen auf die Vertices gemappt. Mit dieser auch als Displacement Mapping bezeichneten Technik ist der Entwickler nicht mehr zwingend auf glatte Oberflächen festgelegt bzw. muss diese nicht mehr mit viel Aufwand auf Pixelshader-Ebene nachbearbeiten (Stichwort Bump Mapping).

Displacement Mapping ist damit ein entscheidender Fortschritt in den allgegenwärtigen Bemühungen um echte Filmqualität in der Computergrafik. Selbst kleinste Unterschiede und Veränderungen in der Modellgeometrie können nun in der Grafikedarstellung adäquat berücksichtigt werden, da beispielsweise jedes Verticelement mit allen Lichtquellen in der Szene interagieren kann. Der Rechenaufwand für derartige Situationen ist verglichen mit traditionellen 3D-Darstellungstechniken um ein Vielfaches geringer.

Die Vorteile von Displacement Mapping lassen sich am einfachsten an einem kurzen Bildbeispiel verdeutlichen. In Abbildung 2 ist das Ausgangsmodell (ein Dinosaurierkopf) ohne Displacement Mapping dargestellt, wobei im linken Bild Teile des 3D-Gittermodells hervorgehoben sind. Das rechte Bild zeigt das mit einer Materialfarbe versehene Kopfmodell.



3D-Scan und -Darstellung von headus; Design und Tonmodell von Martin Rezard

Abb. 2: 3D-Modell eines Dinosaurierkopfs, links mit Teilen des Gitternetzmodells, rechts mit Materialfarbe.

Was passiert, wenn das Gitternetzmodell nun mit Displacement Maps versehen wird, zeigt Abbildung 3: Am Kopf des Dinosauriers werden Hautwülste, tiefe Furchen und detaillierte Texturen sichtbar. All diese Details werden beleuchtungstechnisch korrekt berücksichtigt. So ergibt sich bei verhältnismäßig geringem Rechenaufwand ein äußerst realistisches Modell.



3D-Scan und -Darstellung von headus; Design und Tonmodell von Martin Rezard

Abb. 3: Gitternetzmodell aus Abb. 2, zusätzlich mit Displacement Maps versehen

Geometry Instancing (Geometrieinstanziierung)

In CineFX 3.0 hat der Programmierer die Möglichkeit, beim Einlesen von Vertexdaten (wie beispielsweise Animations- oder Displacement-Daten) verschiedene Takt- bzw. Versatzvorgaben festzulegen. Effekte lassen sich damit sehr effizient auf mehrere Figuren oder Objekte anwenden. In der Praxis bedeutet dies, dass aus einem einzigen Basismodell eine Vielzahl individueller Instanzen abgeleitet werden können. Als Beispiel mag hier die Darstellung einer Armee dienen, deren Soldaten auf dem Schlachtfeld jeweils ein eigenständiges Bewegungsverhalten aufweisen. In dieser Situation können nun jedem Soldaten eigene Animationsparameter zugewiesen werden, sodass jede Figur eigenständig und einzigartig erscheint.

Zudem lässt sich dieser Effekt äußerst effizient implementieren. Die Animationsparameter werden einfach stapelweise auf die Modelle einer Szene übernommen. So hält sich der Aufwand gemessen am beeindruckenden Ergebnis in Grenzen.

Pixel Shader 3.0

Dank vielfältiger Verbesserungsmaßnahmen an der CineFX-Technologie sind die Pixelshader, was Funktionalität und Leistung angeht, inzwischen auf dem gleichen Niveau wie die Vertexshader. Der Entwickler hat jetzt noch mehr Kontroll- und Steuermöglichkeiten auf Pixelebene und kann seine Figuren, Objekte und Szenen noch realistischer gestalten.

Durch den nativen 32-Bit-Verarbeitungsmodus der GeForce 6-Chips wird gleichzeitig eine weitaus höhere Präzision beim Pixelshading erreicht, was zu beträchtlichen Verbesserungen bei der Bildqualität führt.

Keine Längenbeschränkung für Pixelshader

Hardwareseitige Längenbeschränkungen für Pixelshader fallen komplett weg² – Pixelshader-Programme sind nicht mehr auf 96 Anweisungen beschränkt, sodass jetzt noch komplexere Effekte auf Pixelebene möglich werden.

Dynamische Ablaufsteuerung

Subroutinen, Schleifen und Verzweigungen (einschließlich Schleifenzählerregister und Bedingungs-codes) werden uneingeschränkt unterstützt, zudem steht dem Entwickler ein neues Back/Face-Register zur Verfügung. Zusammen bedeutet dies weitestgehende Kontrolle über den Programmablauf.

Flexible Datenformatwahl

Die Operanden von Gleitkommaberechnungen können entweder im nativen 32-Bit-Modus oder im 16-Bit-Modus verarbeitet werden. Beide Formate entsprechen den in der Filmindustrie verwendeten Standards und weisen keine grundlegenden Unterschiede hinsichtlich der Verarbeitungsgeschwindigkeit auf. Im 32-Bit-Format belegen die Operanden jedoch naturgemäß doppelt so viel Speicherplatz wie im 16-Bit-Format. Für maximale Flexibilität hat der Programmierer daher die Möglichkeit, Präzision und Speicherbedarf situationsabhängig gegeneinander abzuwägen und sich fallweise für das passende Format zu entscheiden – je nachdem, ob eine hohe Rechengenauigkeit oder eine möglichst effiziente Speicherverwaltung wichtiger ist. Darüber hinaus werden auch noch weitere Datenformate unterstützt.

Multiple Render Targets

MRT-Technologie (Multiple Render Target) ermöglicht es dem Pixelshader, pixelbezogene Daten (beispielsweise Position, Normale, Farbe, Material) in mehreren Puffern zu speichern. Diese Puffer können dann als Parametersätze für fotorealistische Lichtshader übernommen werden. Auf diese Weise kann die

² Der Wegfall der Längenbeschränkung bezieht sich auf die Hardware. Betriebssystem bzw. API setzen unter Umständen weiterhin Längenbeschränkungen..

Ausleuchtung der Szene aufgeschoben werden, bis die gesamte Geometrie gerendert ist. Unnötige Renderingdurchgänge werden somit vermieden. In Anlehnung daran wird diese Technik auch als *Deferred Shading* („aufgeschobenes Shading“) bezeichnet.

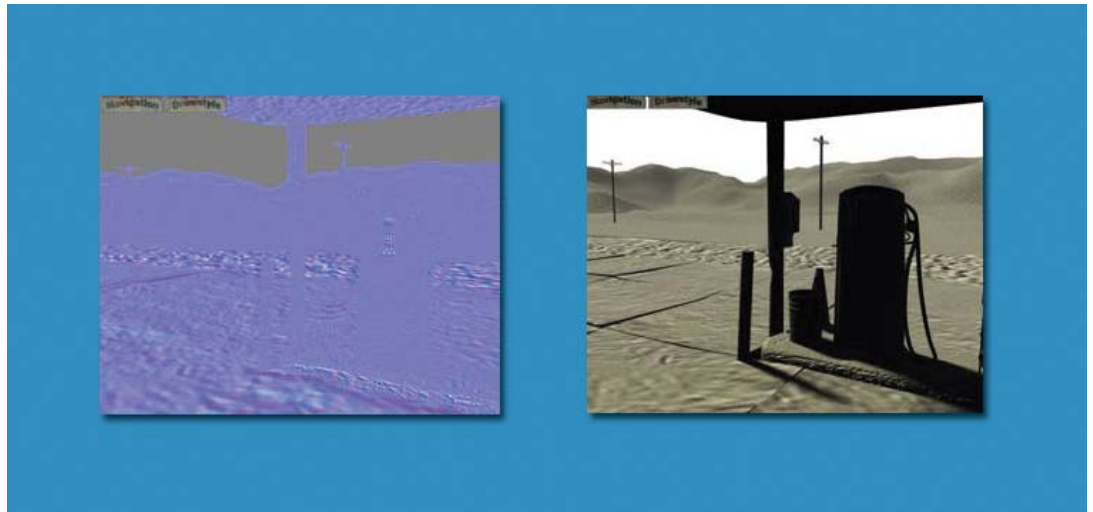
Auch hierzu wieder ein Bildbeispiel: In den Abbildungen 5 bis 7 wird gezeigt, wie mithilfe der MRT-Technik eine HDR-Szene (High Dynamic-Range) gerendert wird. Im ersten Renderingdurchgang werden zunächst drei Ausgabepuffer (Maps) erzeugt: ein Farbpuffer, ein Normalenpuffer und ein Tiefenpuffer. Im zweiten Durchgang wird anhand der Normalen- und Tiefen-Map sowie der Lichtcharakteristika die Beleuchtung der Szene berechnet; anschließend wird die Farb-Map übernommen und das ausgeleuchtete Bild aufgebaut.

Im dritten Durchgang schließlich werden zusätzlich alle „überhellen“ Lichtwerte (d. h. Lichtwerte, die außerhalb des Wertebereichs von 0 bis 1 liegen) gesondert berücksichtigt. Hierbei werden die Pixel im Umfeld dieser überhellen Pixel aufgehellt, sodass eine äußerst realistische Leuchtwirkung (Glow-Effekt) entsteht (siehe Abb. 7).



©2004 NVIDIA Corporation

Abb. 5: Farbpuffer (links) und Tiefenpuffer (rechts) der noch nicht ausgeleuchteten Szene



©2004 NVIDIA Corporation

Abb. 6: Normalenpuffer der nicht ausgeleuchteten Szene (links); ausgeleuchtete Szene (externe Beleuchtung anhand von Normalen- und Tiefenpuffer, rechts)



©2004 NVIDIA Corporation

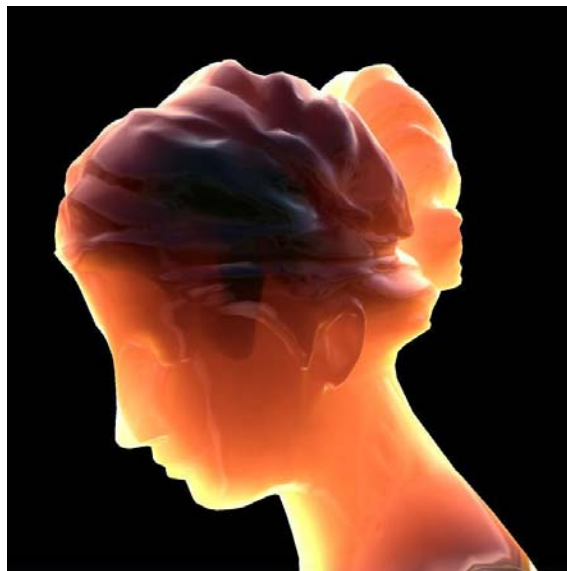
Abb. 7: Ausgeleuchtete Szene plus Farbpuffer (links); abschließender Glow-Effekt (rechts)

In diesem Beispiel fallen mehrere Renderingdurchgänge dank MRT komplett weg – das Endergebnis in Abbildung 7 ist jedoch nicht minder beeindruckend. Mit zunehmender Komplexität der verwendeten Pixelshader werden derartige Deferred-Shading-Ansätze immer wichtiger, da unnötige Berechnungen an Pixeln, die letztlich nicht zum sichtbaren Endergebnis beitragen, entfallen.

Neue Effektmöglichkeiten

Die neuen Technologien und die zusätzliche Leistung der CineFX 3.0-Engine eröffnen dem Programmierer darüber hinaus eine Vielzahl neuer Effektmöglichkeiten, die bisher nicht möglich waren. Hier einige Beispiele:

- ❑ **Subsurface Scattering** verleiht Haut und anderen Oberflächen zusätzliche Tiefe und realistische Lichtdurchlässigkeit (siehe Abb. 8).
- ❑ **Soft Shadows** lassen Schatten weniger hart abgegrenzt erscheinen – die aus Lichtquellen und Objekten in einer Szene berechneten Schattenkanten werden abgeschwächt, um sie natürlicher erscheinen zu lassen (siehe Abb. 9).
- ❑ **Umgebungs- und Bodenschatten** ermöglichen die Abschattung von Umgebungsoberflächen (z. B. Grashalmen oder anderer Bewuchs) ohne auffällige Grafikanomalien oder Leistungseinbußen. Dank der 32-Bit-Pipeline ist eine genaue Nachführung der Schatten am sich verändernden Blickwinkel möglich.
- ❑ **Global Illumination** mildert den immer noch bestehenden Qualitätsunterschied zwischen vorge-renderter und Echtzeit-Grafik in Sachen Beleuchtung. Beim professionellen Filmrendering einer Szene wird teilweise stundenlang die Lichtreflexion zwischen den einzelnen Objekten berechnet, um die Beleuchtung absolut realistisch erscheinen zu lassen. Dank praktisch beliebig langer Pixelshader-Programme und Gleitkommaunterstützung bei Filterung und Blending lassen sich diese immens komplexen Effekte jetzt jedoch auch in Echtzeit erstaunlich genau nachbilden – Echtzeitanwendungen treten damit noch einen Schritt näher an fotorealistische Qualität heran.



Modell mit freundlicher Genehmigung von De Espona Infographica

Abb. 8. Mit Subsurface Scattering lässt sich variable Lichtdurchlässigkeit simulieren.



Abb. 9. CineFX 3.0 ermöglicht neue Effekte wie beispielsweise Soft Shadows.

Zusammenfassung

Komplexe Effekte waren in der Vergangenheit nur unter hohen Leistungs- oder Präzisionseinbußen machbar – unter anderem, weil lange Shaderprogramme in mehrere Rechendurchgänge aufgeteilt werden mussten. Die NVIDIA GeForce 6-Grafikprozessoren machen mit ihrer CineFX 3.0-Engine und Unterstützung für das DirectX 9.0 Shader Model 3.0 Schluss mit dieser Einschränkung: Innovative Effekte gibt es jetzt auch ohne Leistungseinbußen!

NVIDIAs CineFX 3.0-Engine bietet damit die besten Voraussetzungen für einen echten Kreativschub in der Grafikprogrammierung. Dank vollständiger Unterstützung für das DirectX 9.0 Shader Model 3.0 eignen sich die neuesten GeForce-Chips ideal für Spiele der nächsten Generation – der Anwender kann sich auf noch komplexere Digitalwelten, täuschend realistische Grafik und filmreife Kineffekte freuen.



Hinweis

ALLE NVIDIA-DESIGNSPEZIFIKATIONEN, REFERENZPLATINEN, DATEIEN, ZEICHNUNGEN, DIAGNOSEPROGRAMME, LISTEN UND SONSTIGEN DOKUMENTE (EINZELN ODER IM GANZEN ALS "MATERIALIEN" BEZEICHNET) WERDEN "AS IS" ("WIE BESEHEN") BEREITGESTELLT. NVIDIA GIBT HINSICHTLICH DER MATERIALIEN KEINERLEI GARANTIE, UNABHÄNGIG DAVON, OB DIESE AUSDRÜCKLICH, KONKLUDENT, GESETZLICH ODER ANDERWEITIG BEGRÜNDET SIND. INSBESONDERE WERDEN AUSDRÜCKLICH KEINERLEI GARANTIE HINSICHTLICH DER NICHTVERLETZUNG VON URHEBERRECHTEN, DER MARKTGÄNGIGKEIT SOWIE DER EIGNUNG FÜR EINEN BESTIMMTEN ZWECK ÜBERNOMMEN.

Die in diesem Artikel genannten Informationen sind nach bestem Wissen und Gewissen zutreffend und verlässlich. Die NVIDIA Corporation übernimmt jedoch keinerlei Verantwortung für Konsequenzen, die aus der Nutzung dieser Informationen entstehen, bzw. für Patentrechtsverletzungen oder andere Verstöße gegen die Rechte Dritter, die aus einer solchen Nutzung entstehen. Es wird weder konkludent noch anderweitig eine Lizenz im Rahmen eines Patents oder eines Patentanspruchs der NVIDIA Corporation gewährt. Die in diesem Artikel genannten Spezifikationen können sich jederzeit ohne weitere Ankündigung ändern. Dieser Artikel löst alle eventuell vorab bereitgestellten Informationen ab und ersetzt diese. Ohne die ausdrückliche vorherige schriftliche Genehmigung der NVIDIA Corporation dürfen Produkte der NVIDIA Corporation nicht als missionskritische Komponenten in lebenserhaltenden Geräten oder Systemen eingesetzt werden.

Warenzeichen/Marken

NVIDIA, das NVIDIA-Logo, CineFX und GeForce sind Warenzeichen und/oder eingetragene Marken der NVIDIA Corporation. Bei anderen Firmen- und Produktnamen kann es sich um Warenzeichen der jeweiligen Eigentümer handeln.

Copyright

© 2004 NVIDIA Corporation. Alle Rechte vorbehalten.



NVIDIA.

NVIDIA Corporation
2701 San Tomas Expressway
Santa Clara, CA 95050
www.nvidia.com